

Variabilidades e Tendências da Vazão no Rio Paranaíba

Juan Ritter Caparroz¹, Andrea de Oliveira Cardoso²

¹ Universidade Federal do ABC, Santo André - SP, Brasil

(juan.ritter@aluno.ufabc.edu.br)

² UFABC, CECS, Santo André - SP, Brasil

Resumo: Regiões brasileiras apresentam tendências nas vazões de rios com sinal variado. No caso da parte alta do Rio Paraná as tendências passaram a ser detectadas em observações a partir do século XXI. Este estudo investiga tendências de vazão na Bacia do Rio Paranaíba. Os resultados mostraram tendências negativas no período mais recente e aumento na frequência de casos de vazão muito baixa nas últimas duas décadas. Também há correlações pontuais de mesmo sinal com o El Niño Oscilação Sul (ENOS).

Palavras-chave: vazão; tendência; variabilidade; Emborcação; ENOS

INTRODUÇÃO

Apesar da grande disponibilidade de água doce no Brasil, sua distribuição desigual, o crescimento populacional, o aumento da demanda por recursos hídricos e os impactos das mudanças climáticas têm intensificado conflitos e ampliado o risco de crises hídricas, como a ocorrida em 2014 no Sudeste e a estiagem registrada em 2021 na bacia do rio Paraná.

Padrões de variabilidade climática exercem influência sobre as vazões de rios brasileiros (Capozzoli et al., 2017), especialmente associada ao El Niño–Oscilação Sul (ENOS).

Além de variabilidades verificam-se tendências nas vazões de vários rios brasileiros. Lira e Cardoso (2018) e Silva et al. (2018) verificaram tendências negativas de vazão na bacia hidrográfica do Rio São Francisco, em especial para Sobradinho e Xingó, e tendências positivas de vazão no Rio Paraná. Entretanto, Motta et al. (2021), em estudo mais recente, detectaram um cenário oposto na parte alta da Bacia do Paraná, com maior frequência vazões baixas e muito baixas após o ano de 2014, permanecendo no mesmo patamar até 2020.

Cortizo (2023) analisou um longo período de vazão, de 1931 a 2022, identificando a manutenção das tendências positivas em vazões no Sul do Brasil. No Nordeste, a primeira parte da série de vazão apresentou padrão constante, enquanto na metade final há tendência decrescente. O setor Sudeste apresentou uma inversão nos padrões, com as vazões na primeira metade crescentes e na segunda decrescentes.

Diante das variações e diferentes mudanças observadas nos padrões de vazão de rios, torna-se necessário estudos regionalizados e atualizados. Neste

contexto, o presente trabalho objetiva caracterizar os padrões de vazão na Bacia do Rio Paranaíba, investigar suas variações de longo prazo, com foco em tendências e avaliar sua relação com o ENOS.

MATERIAL E MÉTODOS

Como área de estudo focalizou-se a Bacia do Rio Paranaíba, localizada na parte alta da bacia do Rio Paraná, entre o sul do Estado de Goiás e o norte de São Paulo. Trata-se de uma região de relevância estratégica para o abastecimento hídrico, geração de energia e desenvolvimento agrícola e industrial do Brasil. A bacia também abriga trechos estratégicos da Hidrovia do Paraná, um expressivo parque hidrelétrico e concentra significativa atividade industrial e urbana, refletindo sua importância para a economia regional.

Foram utilizados dados históricos mensais de vazão natural em dois pontos da bacia hidrográfica, abrangendo o período de 1931 a 2023, disponibilizados pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). O primeiro ponto corresponde ao posto Emborcação, localizado na porção alta do rio principal, enquanto o segundo refere-se ao posto Caçu, situado no rio Claro, afluente da porção baixa da bacia.

Para monitorar o fenômeno ENOS são utilizados índices de variabilidade climática como o Oceanic Niño Index (ONI). Casos de El Niño (fase quente) ou La Niña (fase fria) são definidos quando a média móvel trimestral das anomalias de temperatura da superfície do mar, na região do Pacífico equatorial central e leste, excede +0,5 °C ou -0,5 °C em relação à climatologia de referência, persistindo por, no mínimo, cinco trimestres móveis consecutivos (NOAA, 2025). A intensidade do episódio pode ser

determinada quando os valores do ONI ultrapassam o limiar da categoria mais alta por pelo menos três trimestres móveis consecutivos (GGWS, 2025), sendo classificados conforme: eventos fracos (anomalia de TSM entre 0,5 e 0,9 °C), moderados (1,0 a 1,4 °C), fortes (1,5 a 1,9 °C) e muito fortes ($\geq 2,0$ °C). Assim, neste estudo considerou-se esta classificação para os eventos El Niño e La Niña (Tabela 1).

Tabela 1 - Classificação de intensidade dos episódios ENOS, baseado no *Oceanic Niño Index*.

El Niño				La Niña		
Fraco	Moderado	Forte	Muito Forte	Fraco	Moderado	Forte
1952-53	1951-52	1957-58	1982-83	1954-55	1955-56	1973-74
1953-54	1963-64	1965-66	1997-98	1964-65	1970-71	1975-76
1958-59	1968-69	1972-73	2015-16	1971-72	1995-96	1988-89
1969-70	1986-87	1987-88		1974-75	2011-12	1998-99
1976-77	1994-95	1991-92		1983-84	2020-21	1999-00
1977-78	2002-03	2023-24		1984-85	2021-22	2007-08
1979-80	2009-10			2000-01		2010-11
2004-05				2005-06		
2006-07				2008-09		
2014-15				2016-17		
2018-19				2017-18		
				2022-23		

Fonte: GGWS, 2025.

Considerando a série histórica disponível de vazão, foi realizada a divisão do período total em três intervalos consecutivos, de 31 anos cada: o período mais antigo, de 1931 a 1961; o período intermediário, de 1962 a 1992; e o período mais recente, 1993 a 2023. Dessa forma, a segmentação permite uma análise detalhada da evolução dos padrões e variabilidades da vazão em cada intervalo e todo o período.

Para avaliar o padrão sazonal das vazões e suas variações ao longo do tempo, foram calculadas as médias de vazões mensais, para cada mês do ano, nos três períodos distintos de 31 anos (1931-1961; 1962-1992; 1993-2023) e para todo o período, de 1931-2023. Também foi avaliada a variabilidade interanual nos três períodos citados, a partir da vazão média anual.

Foi aplicada a técnica dos quantis à série de vazão anual. Este método possibilita classificar os tipos de eventos, caracterizar extremos e avaliar a distribuição dos dados intermediários (XAVIER et al., 2017). No presente trabalho, analisou-se apenas os limiares associados aos casos mais extremos, ou seja, quantis de 15% e 85%, associados à vazão muito baixa e muito alta, respectivamente.

Foi realizada análise de tendência linear da vazão anual de todo o período, bem como para os três períodos de 31 anos, com o propósito de identificar possíveis tendências ao longo dos anos e verificar eventuais mudanças na tendência entre os diferentes períodos. Assim, a tendência temporal das vazões foi avaliada por meio do ajuste de uma regressão linear simples à série histórica (CHEIN, 2019). O potencial de ajuste é medido pelo coeficiente de determinação R^2 e indica a proporção da variância do dado original

que é explicada pela reta ajustada. Este coeficiente varia de 0 a 1, sendo melhor o ajuste do modelo para valores mais próximos de 1. No caso da análise de tendência, o tempo (variação nos anos) é a variável independente e busca-se encontrar uma relação linear com a vazão. Foi aplicado o teste F para avaliar a significância do R^2 , ao nível de significância de 0,05 (GUJARATI e PORTER, 2011).

Para investigar a relação entre os eventos extremos de vazão e o fenômeno ENOS foi realizada uma análise de frequência dos episódios *El Niño* e *La Niña* em cada categoria de extremo de vazão. Assim, considerou-se o número de ocorrência de cada fase ENOS pelo número total de anos de cada classe de vazão. Neste caso, considerou-se o período a partir de 1950, que é o ponto de intersecção entre as séries temporais disponíveis (ONI e vazão).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram analisados os padrões sazonais de vazão de Emborcação (Figura 1) e Caçu (Figura 2) obtidos sob o período completo (1931 a 2023) e para os três períodos de 31 anos (1931 a 1961, 1962 a 1992 e 1993 a 2023). A sazonalidade acompanha a média mensal do período total (cinza), com maiores vazões entre dezembro e abril e menores de junho a outubro. De modo geral, maiores vazões médias de janeiro a março, enquanto os meses seguintes apresentam redução, atingindo as mínimas vazões mensais entre agosto e setembro, para ambos os pontos de estudo. Comparando os diferentes períodos, destaca-se para Emborcação, menores vazões médias mensais no período mais recente (laranja). Vazões mais elevadas ocorrem principalmente no período intermediário, de setembro a fevereiro. Somente em março há maiores vazões no período mais antigo.

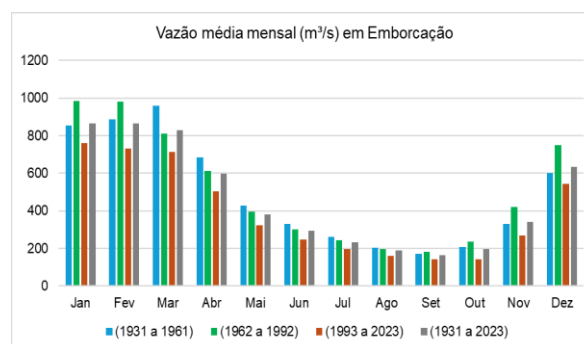


Figura 1. Vazão média mensal (m³/s) em Emborcação.

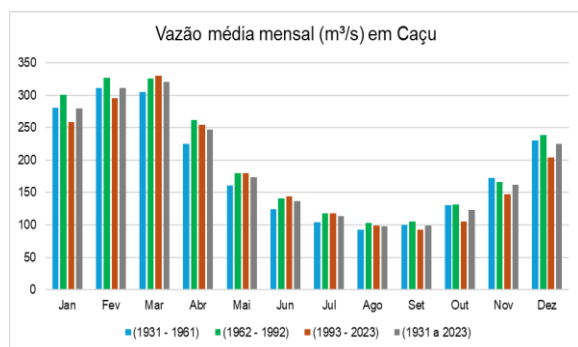


Figura 2. Vazão média mensal (m^3/s) em Caçu.

Com o intuito de avaliar a variabilidade interanual da vazão de Emborcação e Caçu, foram calculadas as vazões médias anuais. Em Emborcação há variabilidades interanuais de vazão com amplitudes variadas (Figura 3). Observa-se que o primeiro período (mais antigo, em azul) apresenta apenas variabilidades interanuais de amplitudes mais baixas, com valores mais próximos à média do período completo, apontada pela linha pontilhada em vermelho. O segundo período (intermediário), em verde, apresenta os maiores picos de vazões da série, com destaque para 1983 (ano de El Niño forte, conforme a Tabela 1), recorde positivo da série histórica, atingindo uma vazão média anual de 955 m^3/s . Já, o período mais recente, em laranja, apresenta o cenário oposto, contendo as menores médias anuais da série, tendo a maior parte dos valores abaixo da média total da série. O destaque do terceiro período é o ano de 2017, recorde negativo, com vazão média anual de 194 m^3/s . Estão presentes também os dados de vazões totais (Q_t) do período de 93 anos, classificadas pelo método dos quantis como muito baixa (Q_{t15}) e muito alta (Q_{t85}).

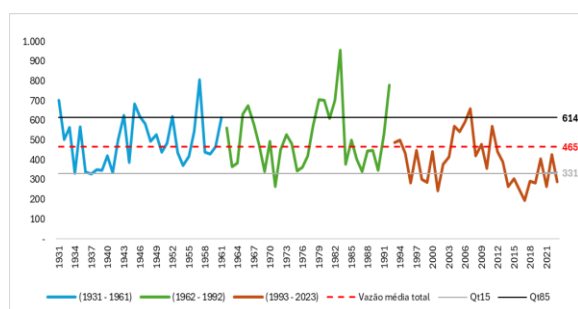


Figura 3. Vazões médias anuais (m^3/s) em Emborcação.

A vazão anual de Caçu (Figura 4) é consideravelmente inferior à média de Emborcação, sendo que o primeiro período, em azul, também apresenta um cenário de vazões anuais muito próximas da média, com um breve período (1953 a 1955) de vazões consideravelmente abaixo da média. No segundo período, em verde, estão presentes novamente as maiores médias anuais, com destaque para os anos 1982 e 1983, respectivamente, com 296 e 286 m^3/s .

Enquanto isso, o terceiro período, em laranja, apresenta as menores vazões médias anuais, ressaltando a última década, onde todos os anos ficaram abaixo da média do período, em especial 2021 que apresentou amplitudes muito inferiores ao quantil de vazão muito baixa (Q_{t15}), conforme Figura 4.

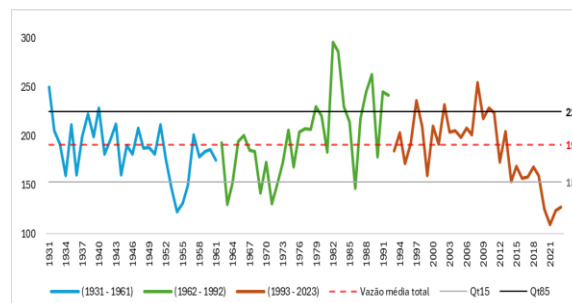


Figura 4. Vazões médias anuais (m^3/s) em Caçu.

Para o período mais antigo, verificou-se uma leve tendência positiva de vazão anual em Emborcação (Figura 5), com coeficiente angular (b) igual a 2,2123. Além disso, o coeficiente de determinação (R^2) é igual a 0,0265, considerado baixo e com ajuste fraco. A média do período inicial de Emborcação, de 493 m^3/s , que é levemente acima da média do período completo, de 1931 a 2023, que é de 465 m^3/s . Além disso, são destacados os quantis de vazão muito baixa (Q_{15}) e muito alta (Q_{85}), de 345 m^3/s e 621 m^3/s , respectivamente. A tendência linear ajustada aos dados do período apresentou coeficiente de determinação $R^2 = 0,0265$. Os anos com vazões muito baixas para o período, abaixo de Q_{15} , possuem valores muito próximos ao limiar. Enquanto, as amplitudes dos eventos extremos de vazão muito alta, superiores ao Q_{85} , ocorrem apenas nos anos 1931, 1943, 1945 e o evento mais extremo, em 1957.

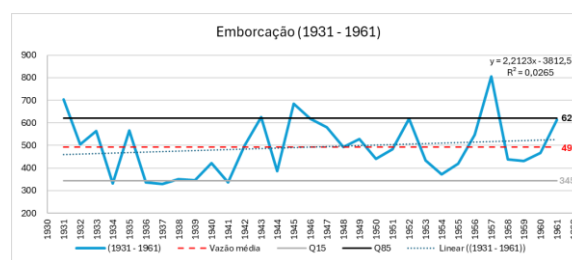


Figura 5. Análise de tendência linear e quantis em Emborcação (1931-1961).

No período intermediário (Figura 6), a vazão anual em Emborcação possui uma vazão média de 509 m^3/s e quantis Q_{15} e Q_{85} de 347 m^3/s e 701 m^3/s , respectivamente. A equação de regressão linear apresenta um coeficiente angular semelhante à análise do período total, levemente positivo ($b=2,0771$), de menor amplitude. O coeficiente R^2 é igual a 0,0147, sendo o menor entre os três períodos analisados na estação. Quando analisados os eventos extremos de vazão muito baixa (inferiores ao Q_{15}), destaca-se o

ano de 1971, com a menor vazão média do período. Em relação aos eventos de vazão média muito alta (superiores ao Q85), destacam-se os anos 1983 e 1992, respectivamente, com 955 m³/s e 779 m³/s.

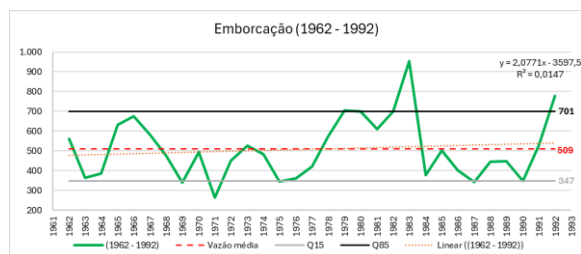


Figura 6. Análise de tendência linear e quantis em Emborcação (1963-1992).

A vazão anual no posto Emborcação apresentou redução expressiva no período mais recente (Figura 7), atingindo a média de 394 m³/s, o quantil Q15 igual de 264 m³/s e Q85 de 548 m³/s. Houve a inversão do sinal do coeficiente angular ($b = -4,2288$) da equação de regressão linear, associado à tendência negativa. Este período apresentou o maior coeficiente de determinação, com $R^2 = 0,104$. Não foram verificadas sequências de anos consecutivos com eventos muito extremos positivos ou negativos, apenas algumas variabilidades interanuais e interdecadais de baixa escala. No entanto, um número maior de eventos abaixo do normal ocorreu no final da série.

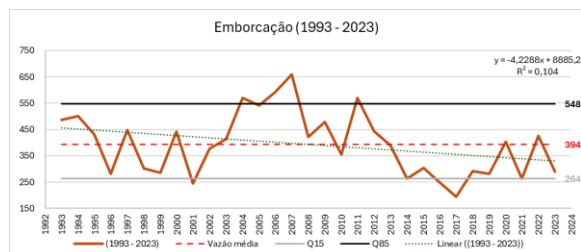


Figura 7. Análise de tendência linear e quantis em Emborcação (1993-2023).

A análise de regressão linear simples aplicada ao posto de Caçu no período mais antigo (Figura 8) de dados indicou uma tendência sutilmente negativa ($b = -1,3953$), com uma vazão média no período igual a 186 m³/s, os quantis Q15 igual a 157 m³/s e Q85 em 212 m³/s. O coeficiente de determinação é o menor dos períodos analisados para Caçu ($R^2 = 0,2098$). Os eventos acima de Q85 estão concentrados na primeira década, nos anos 1931, 1938 e 1940, enquanto os eventos extremos de vazão muito baixa estão na década final, de 1953 a 1956.

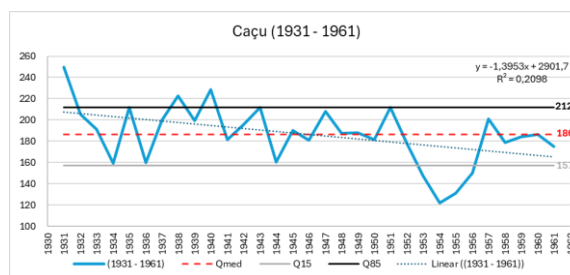


Figura 8. Análise de tendência linear e quantis em Caçu (1993-2023).

No período intermediário em Caçu (Figura 9) é observada a inversão da tendência, conforme destacado pela linha ajustada e pelo coeficiente angular da equação de regressão linear. Neste período, a tendência é positiva ($b = 2,7553$), com vazão média anual do período igual a 200 m³/s, Q15 igual a 149 m³/s e Q85 em 245 m³/s, apresentando maior amplitude entre Q15 e Q85. O coeficiente de determinação é igual a 0,3503. Neste período os eventos extremos de vazão passar de vazões muito baixas (no início) para maior frequência de casos de vazões muito altas, em 1982 e 1983 e, novamente, em 1988 e 1989.

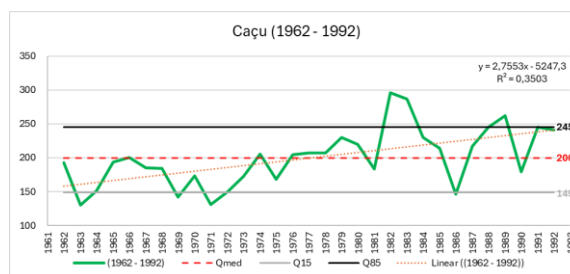


Figura 9. Análise de tendência linear e quantis em Caçu (1962-1992).

No período mais recente, a vazão anual em Caçu apresentou uma nova inversão de tendência, com coeficiente angular ($b = -2,3806$) e tendência negativa (Figura 10). Os limiares quantílicos de vazão foram Q15 igual de 148 m³/s e Q85 de 225 m³/s. Destaca-se que o coeficiente de determinação R^2 foi o maior de todos os períodos para a estação, chegando a 0,307. Os eventos extremos novamente se invertem e passam a mostrar eventos de vazão muito baixa em anos consecutivos, especialmente de 2020 a 2023. A mudança de tendência está associada diretamente com as duas últimas décadas, quando se observa um declínio abrupto da vazão, podendo indicar influência de variabilidades climáticas de longo prazo, mudança local de uso da terra ou efeito de mudança climática global.

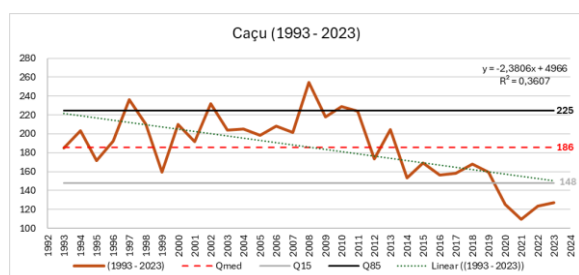


Figura 10. Análise de tendência linear e quantis em Caçu (1993-2023).

Em relação a influência da variabilidade interanual do clima, notou-se que alguns anos extremos de vazão (muito alta ou muito baixa) estão associados a ocorrência de fases do fenômeno ENOS (El Niño e La Niña), o que está destacado na Tabela 2.

Tabela 2 - Relação entre extremos de vazão anual e ENOS registrados no período de 1951 a 2023.

Estação	Ano	Tipo Extremo	ENOS
Emborcação	1957	Muito alto	El Niño
Emborcação	1971	Muito baixo	La Niña
Emborcação	1983	Muito alto	El Niño
Emborcação	2007	Muito alto	El Niño
Emborcação	2017	Muito baixo	La Niña
Caçu	1954	Muito baixo	La Niña
Caçu	1963	Muito baixo	El Niño
Caçu	1982	Muito alto	El Niño
Caçu	2008	Muito alto	La Niña
Caçu	2021	Muito baixo	La Niña

Para compreender melhor a influência dos episódios El Niño e La Niña sobre a vazão, aplicou-se a análise de frequência de todas as categorias de vazão associadas às fases do ENOS. As Figuras 11 e 12 apresentam a distribuição da frequência de eventos ENOS em relação às vazões muito baixa, baixa, normal, alta e muito alta, para os postos de Emborcação e Caçu, respectivamente. A análise comparativa entre os dois postos evidencia variações espaciais na resposta hidrológica aos eventos climáticos.

No posto de Emborcação (Figura 11), observa-se que as categorias de vazão baixa e muito baixa concentram o menor percentual de neutralidade quanto ao ENOS. No entanto, destaca-se a influência da La Niña para casos mais extremos de vazão muito baixa. Já na categoria de vazão muito alta, 50% do período é marcado pela ocorrência de El Niño. Portanto, há indícios de que este fenômeno exerça influência de

mesmo sinal sobre os extremos de vazão na área de estudo.

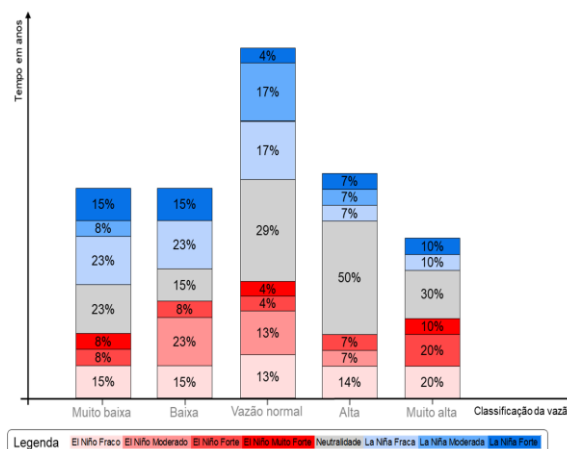


Figura 11. Frequência de eventos ENOS por categoria de vazão em Emborcação.

Com relação ao posto de Caçu (Figura 12), a distribuição dos eventos ENOS se destaca com mais nitidez nos extremos inferiores (vazão muito baixa) e superiores (vazão muito alta), onde há menores percentuais de neutralidade e marcados por La Niña fraca e El Niño muito forte, respectivamente. Adicionalmente, é importante ressaltar que o período de vazão normal apresentou 61% de neutralidade. No entanto, as frequências encontradas para as fases do ENOS não apontam a um padrão de influência, dado que o percentual de ocorrência é equivalente para La Niña e El Niño, sendo apenas possível observar um destaque para intensidades específicas de ENOS. Isto indica que, em anos de La Niña e El Niño, tanto vazões acima quanto abaixo do normal podem ocorrer.

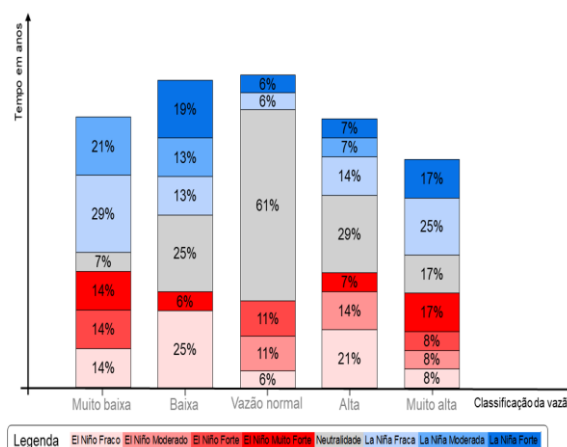


Figura 12. Frequência de eventos ENOS por categoria de vazão em Caçu.

CONCLUSÃO

A análise de séries temporais de vazão natural na Bacia do Rio Paranaíba, ao longo de mais de 90 anos,



evidenciou mudanças nos padrões hidrológicos, com redução das vazões médias anuais nos postos avaliados. A divisão da série em três períodos indicou manutenção do regime sazonal típico, com cheias no verão e vazantes do inverno ao início da primavera, porém com diminuição significativa das vazões no período mais recente.

Nas últimas décadas, observou-se predominância de tendências negativas nas séries de vazão, com comportamento diferenciado no posto de Caçu, onde foram identificadas inversões de tendência entre os períodos tridécenais analisados. Adicionalmente, verificou-se aumento na frequência de vazões muito baixas, indicando maior ocorrência de episódios de seca hidrológica.

Observou-se ainda associação entre extremos de vazão e as fases do ENOS, especialmente em Emborcação, onde eventos El Niño estão relacionados a vazões elevadas e La Niña a vazões reduzidas, evidenciando a influência da variabilidade climática interanual na dinâmica hidrológica da bacia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal do ABC pelo apoio técnico e institucional.

REFERÊNCIAS

CAPOZZOLI, C. R.; CARDOSO, A. O.; FERRAZ, S. E. T. Padrões de variabilidade de vazão de rios nas principais bacias brasileiras e associação com índices climáticos. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, n. 2, p. 243-254, 2017.

CHEIN, F. **Introdução aos modelos de regressão linear**. ENAP, Escola Nacional de Administração Pública, Brasília, 2019.

CORTIZO, S. Impacto observado das mudanças climáticas nos rios brasileiros. 2023. Em *SciELO Preprints*.

GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria básica**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH Editora, 2011.

LIRA, F. A.; CARDOSO, A. O. Estudo de tendência de vazões de rios das principais bacias hidrográficas brasileiras. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 48, p. 21-37, 2018.

MOTTA, B.; CARDOSO, A. O.; SOUZA, A. Análise de padrões e extremos de vazão na parte alta da Bacia do Rio Paraná. *Anais do Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia*, 2021.

NOAA. *Oceanic Niño Index (ONI)*. Disponível em: https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_m

onitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Acesso em: 23 mar. 2025.

GGWS. El Niño and La Niña years and intensities based on Oceanic Niño Index (ONI). Golden Gate Weather Services, 2025. Disponível em: <https://ggweather.com/enso/oni.htm>. Acesso em: 23 mar. 2025.

SILVA, W. L.; Xavier, L. N. R.; Maceira, M. E. P.; ROTUNNO, O. C. Wanderson et al. Climatological and hydrological patterns and verified trends in precipitation and streamflow in the basins of Brazilian hydroelectric plants. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 137, n. 1, p. 353-371, 2019.

XAVIER, T. M. B. S.; AMBRIZZI, T.; SILVA, M. E. S. **Aplicações de modelos e técnicas na detecção de variabilidade no clima e extremos**. Fortaleza: Banco do Nordeste S.A, 2017.